



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement,
des transports, de l'énergie et de la communication DETEC

Office fédéral de l'énergie OFEN
Recherche énergétique

Rapport final

PValps

Analyse comparative de performance de modules PV alpins après 5 ans



©Romande Energie 2018



PLANAIR

Ingénieurs conseils en énergies et environnement

Date : 15 décembre 2018

Lieu : Berne

Mandant :

Office fédéral de l'énergie OFEN
Programme de recherche Photovoltaïque
CH-3003 Berne
www.ofen.admin.ch
energieforschung@bfe.admin.ch

Cofinancement :

Romande Energie
Rue de Lausanne 53
1110 Morges
www.romande-energie.ch

Mandataire :

Planair SA
Galilée 6
1400 Yverdon-les-Bains
www.planair.ch

Auteurs :

Yves Chevillat, Planair SA, yves.chevillat@planair.ch
Lionel Perret, Planair SA, lionel.perret@planair.ch

Responsable de domaine OFEN : Stefan Oberholzer, stefan.oberholzer@bfe.admin.ch

Chef de programme de l'OFEN : Stefan Oberholzer, stefan.oberholzer@bfe.admin.ch

Numéro du contrat de l'OFEN : SI/501746-01



Résumé

Au travers de ce projet, 55 modules de 7 types différents ont été mesurés et analysés en détail par l'installation mobile du SPF. 25 d'entre eux ont fonctionné pendant 5 ans dans les Alpes, à 1800 mètres d'altitude, les autres pendant environ 5 ans en plaine. Le but du projet était de déterminer si les conditions climatiques rigoureuses et le fonctionnement régulier à des puissances supérieures à la puissance nominale ont dégradé les modules significativement plus que dans des installations similaires situées en plaine. Il s'avère, au contraire, que les modules en plaine apposés en toiture et moins ventilés se sont en moyenne dégradés davantage que les modules alpins. Les modules photovoltaïques ont très bien supporté les conditions alpines, ce qui est encourageant pour le déploiement futur en milieu alpin.

Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Projekts wurden 55 Module von 7 verschiedenen Typen gemessen und von der mobilen SPF-Installation detailliert analysiert. 25 von ihnen operierten 5 Jahre lang in einer Höhe von 1800 Metern, die anderen sind seit etwa 5 Jahren im Schweizer Mittelland in Betrieb. Ziel des Projekts war es, festzustellen, ob harsche klimatische Bedingungen und ein längerer Betrieb bei Leistungen über der Nennleistung die alpinen Module stärker beeinträchtigt als ähnliche Anlagen in geringer Höhe. Es scheint, dass im Dach integrierte und damit weniger belüfteten Module vergleichsweise stärker degradieren als Module installiert im alpinen Raum. Die Photovoltaikmodule haben den alpinen Bedingungen sehr gut standgehalten, was für den zukünftigen Einsatz im alpinen Umfeld ermutigend ist.

Summary

Through this project, 55 modules of 7 different types were measured and analysed in detail by the SPF mobile installation. 25 of them operated for 5 years at 1800 meters above sea level, the others have operated for about 5 years on the swiss plateau. The purpose of the project was to determine whether severe weather conditions and regular operation above nominal power have degraded the modules in the Alps significantly more than in similar installations at low altitude. On the contrary, it appears that the modules affixed to the roof, and therefore less ventilated, suffered on average more degradation than the alpine modules. The photovoltaic modules have endured the alpine conditions very well, which is encouraging for future deployment.



[leere Seite, damit Inhaltsverzeichnis/Kapitel 1 auf ungerader Seite]



Sommaire

Résumé.....	3
Zusammenfassung.....	3
Summary	3
Sommaire	5
Liste des abréviations.....	6
1 Introduction.....	7
2 Situation initiale	8
3 Approche et méthode.....	10
3.1 Tests effectués	10
3.1.1 Essais électriques.....	10
3.1.2 Mesure de la courbe caractéristique I/U.....	11
3.1.3 Electroluminescence	11
3.2 Interventions	11
4 Résultats.....	12
4.1 Comparaison du productible.....	12
4.2 Caractéristiques des panneaux bifaciaux.....	14
4.3 Analyse des défauts constatés.....	14
5 Discussion des résultats	16
5.1 Potentiel des installations alpines	16
5.2 Potentiel des panneaux bifaciaux.....	16
5.3 Potentiel d'une installation de flashage mobile	17
6 Conclusions et perspectives.....	18



Liste des abréviations

SPF	Institut für Solartechnik (Hochschule für Technik, Rapperswil)
PV	Photovoltaïque
MBJ	Mobile PV test center
STC	Standard test conditions



1 Introduction

Le potentiel de l'énergie solaire en altitude a fait l'objet de nombreuses recherches ces dernières années, qui notamment attestent des excellents rendements obtenus par les propriétés intrinsèques des panneaux solaires.

Les résultats des mesures du productible moyen des modules de la plateforme test, sur plusieurs années, par catégorie de technologie photovoltaïque « mono-faciaux » ou « bifaciaux » (face arrière active) et par emplacement « plaine » ou « alpes » sont synthétisés ci-dessous :

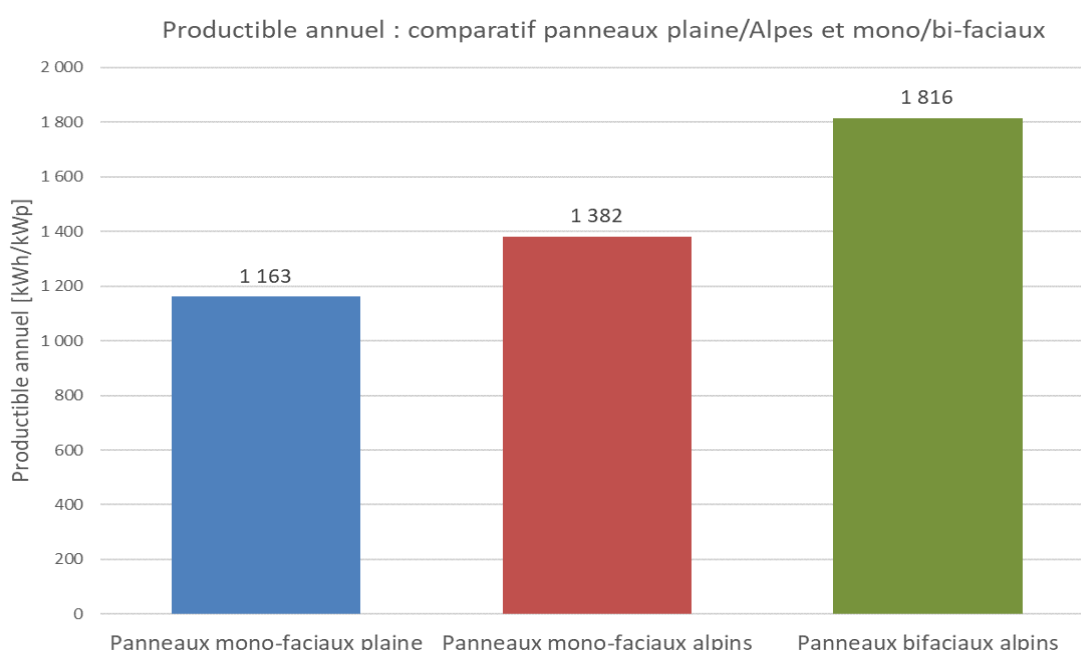


Figure 1 - © Romande Energie, production annuelle moyenne (rapportée sur la puissance de la face avant), calculée sur 3 à 5 ans selon le module, en fonction du lieu et du type

La région de plaine référencée ici correspond à une région particulièrement ensoleillée dans le Chablais. Le productible annuel suisse moyen se situe plutôt autour de 900 à 950 kWh/kWp. Le rendement des modules mono-faciaux alpins analysés dans ce projet est donc 50% plus élevé que le rendement moyen en plaine.

Le gain de productible alpin résulte principalement des facteurs suivants :

- Rayonnement ultraviolet plus important en raison de la réduction de la couche atmosphérique,
- Effet d'Albédo¹ très important de la neige,
- Températures plus froides à 1'810 m qu'en plaine.

¹ Albédo : quantité de rayonnement solaire réfléchi par la surface terrestre



Au vu des conditions de fonctionnement très différentes entre les 2 environnements (plaine ou alpin), la question d'un éventuel vieillissement accéléré des panneaux dans ces conditions de fonctionnement plus intensives s'est posée.

2 Situation initiale

Une plateforme de test du fonctionnement de différents modules PV en conditions alpines a été mise en service en septembre 2013. Les tests comparent des modules mono- et bifaciaux de différents modèles, et ce, à différentes inclinaisons. La plateforme est située au barrage des Toules (VS) et appartient à Romande Energie. Les premiers panneaux, utilisés dès 2013, sont de la même série que ceux des installations planifiées en plaine par Planair. Une extension de la plateforme, avec l'ajout de 4 autres modèles de panneaux bifaciaux nouvellement apparus sur le marché, a été réalisée en 2015 afin d'élargir le panel de modèles testés.



Figure 2 : plateforme de test au Lac des Toules (c) Romande Energie, même à de faibles inclinaisons, les panneaux sont régulièrement naturellement déneigés en hiver par l'effet thermique et de glissement de la neige sur les panneaux.

Cette plateforme teste entre 2 et 9 modules de 6 fournisseurs et de diverses technologies (notamment modules bifaciaux), et ce en milieu alpin. Les puissances nominales des panneaux en face avant sont comprises entre 210 et 330 W. Au total, 25 panneaux issus de cette plateforme sont analysés individuellement. Un suivi individuel de la performance des panneaux a été mené pendant 5 ans, permettant de connaître leur productible.

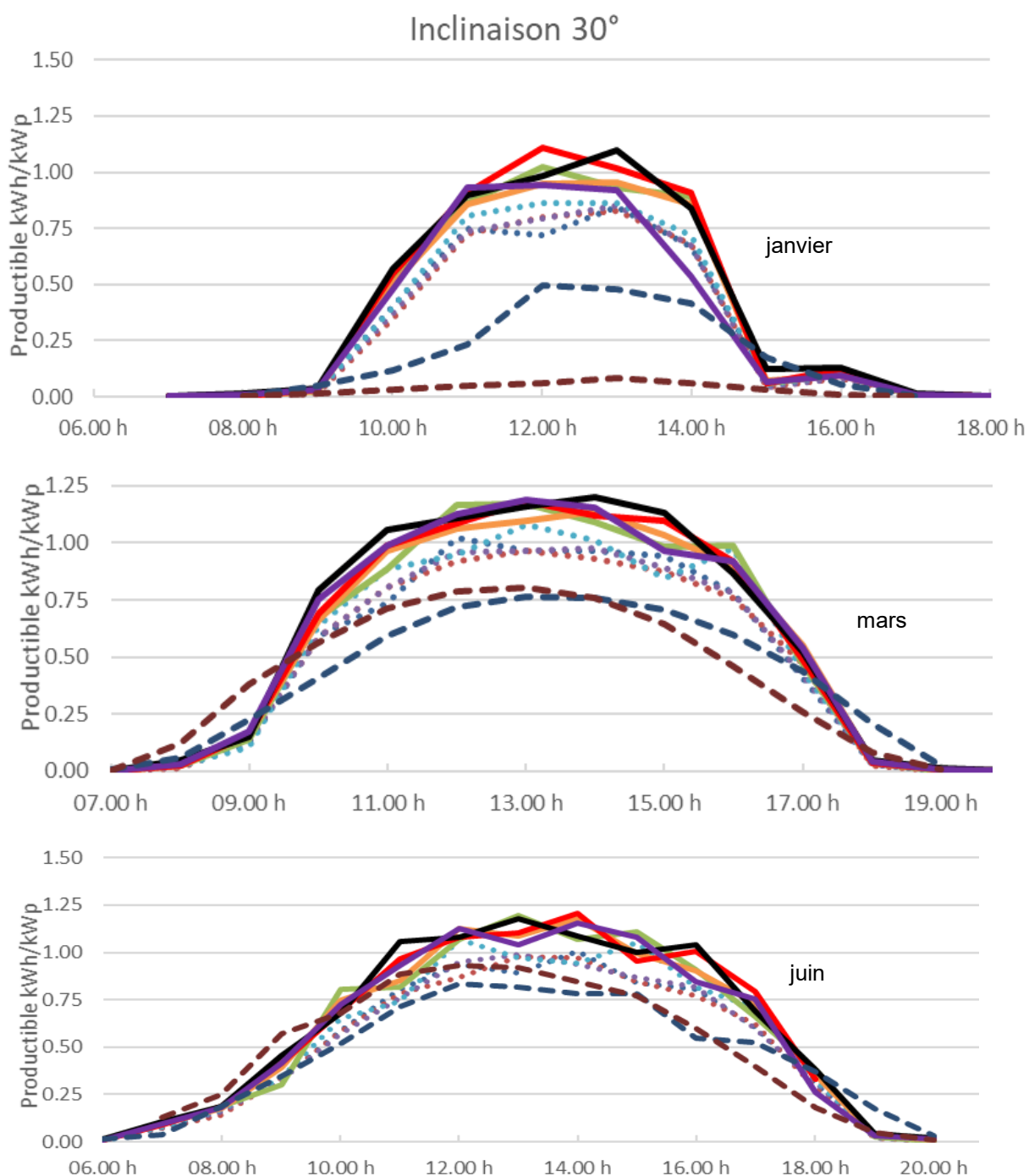


Figure 3 : Productible spécifique (rapporté à la puissance nominale de la face avant) des panneaux de la plateforme sur une journée ensoleillée de janvier, mars et juin. Les courbes en traits pleins représentent différents modèles de panneaux mono-faciaux dans les Alpes ; en pointillés ce sont les panneaux bifaciaux dans les Alpes et en traitillé les panneaux situés en plaine.

Remarque : Les puissances atteintes dans les Alpes sont remarquables ; Elles affichent plus de 410 Wp pour des panneaux mono-faciaux efficaces (>125% de la puissance nominale), voire 460 Wp pour certains panneaux bifaciaux (face avant + arrière, >150% de la puissance nominale de la face avant). La production hivernale, entre 10h et 16h, est également plus régulière dans les Alpes qu'en plaine.



Les tests ont été particulièrement concluants, avec des productibles hivernaux des panneaux bifaciaux régulièrement 100% plus élevés que ceux des panneaux mono-faciaux installés en plaine (la moitié du gain provient du bifacial, l'autre moitié de la situation en altitude).

Les premières années de mesures (septembre 2013 à septembre 2017) montrent une productivité en milieu alpin bien supérieure à celle des installations en plaine malgré un masque plus important, mais semblent indiquer que certains panneaux voient leurs performances se détériorer au fil des années. Le projet vise donc à comprendre si ces conditions exceptionnelles de fonctionnement altèrent davantage les panneaux que ceux qui sont soumis à des conditions plus usuelles.

Pour analyser l'évolution du comportement relatif des panneaux, les panneaux mesurés issus de cette installation seront comparés à un échantillon de 15 panneaux mono-faciaux d'une série identique, et 15 panneaux bifaciaux d'une série identique, et ce, après 5 ans de fonctionnement en plaine.

Le SPF a développé une unité mobile d'analyse et de flashage de panneaux, adapté à des analyses sur site. Grâce à ce dispositif, il est possible de contrôler sur site la fiabilité et les performances des modules.

3 Approche et méthode

3.1 Tests effectués

Les panneaux testés ont tous été soumis au même protocole en utilisant l'installation mobile MBJ (Mobile PV test center²).

Dans le cas des modules bifaciaux, seule la face avant est utilisée pour le comparatif des productibles (§ 4.1). Les deux faces du module sont toutefois testées, chacune de manière distincte afin de renseigner les autres analyses (§ 4.2 et 4.3). Afin d'y parvenir, la face non-mesurée a été recouverte d'un drap noir. On s'assure ainsi qu'aucune lumière du flasheur n'illumine l'autre face du module, par exemple en se reflétant sur le dispositif de mesure. On évite dès lors de fausser la mesure.

3.1.1 Essais électriques

A l'aide des deux tests électriques suivants des défauts pouvant devenir un risque pour la sécurité (p.ex. diodes ou connexions défectueuses, défauts d'isolation et de mise à la terre) peuvent être détectés :

- Test de connexion : pour assurer des connexions électriques correctes vers et à l'intérieur du module.
- Test des diodes : détection de diodes manquantes ou non connectées et de courts-circuits des diodes.

² <http://www.spf.ch/Messverfahren.318.0.html?&L=7>



3.1.2 Mesure de la courbe caractéristique I/U

La puissance actuelle des modules dans des conditions d'essai standards ainsi qu'à différents niveaux d'illumination énergétique est déterminée au moyen d'une mesure de la courbe caractéristique. Des irrégularités³ dans la courbe caractéristique peuvent également être détectées.

Le simulateur solaire répond aux exigences suivantes⁴ :

- Clignotant à LED à impulsions longues et à spectre complet Classe AAA selon IEC 60904 Ed2
- Spectre : Classe A+ selon IEC 60904 Ed2
- Instabilité de l'éclairage : $< \pm 0,25\%$ (classe A+ selon IEC 60904 Ed2)
- Non-homogénéité locale : $< \pm 2\%$ (classe A selon IEC 60904 Ed2)
- Rayonnement : 200-1200 W/m².
- Mesure Pmax avec une précision de mesure de $\pm 3\%$. La température du module est ajustée à la mesure du cadre à 25°. En cas d'écart, les essais des mesures sont ajustés en fonction des températures.

3.1.3 Electroluminescence

Les images électroluminescentes à haute résolution rendent visibles à l'œil nu les zones inactives et les microfissures des cellules du module.

- 2 caméras NIR-CCD MBJ NIR, refroidies
- Résolution env. 300 μm /pixel (correspond à env. 20 MPixel par module)

3.2 Interventions

Les interventions ont été menées sur 3 jours du 3 au 5 octobre 2018.

Elles ont nécessité le démontage et le remontage par des professionnels de 15 panneaux simples sur une installation en plaine mise en service en décembre 2012, et de 15 panneaux bifaciaux sur une installation en plaine mise en service en avril 2011.

Le MBJ s'est ensuite rendu au Lac des Toules. Les 25 panneaux ont été démontés, puis remontés le lendemain avec une équipe de sous-traitants professionnels.

Ainsi 55 panneaux ont pu subir les tests décrits au chapitre précédent. Les installations du Mobile PV Center ont parfaitement répondu à l'objectif, en étant capable d'analyser des modules de taille et de caractéristiques très différentes.

³ P.ex. : résistance série accrue / faible résistance de shunt / Mismatch entre cellules / S-shape / variations du fill factor, de l'ICC ou de U0 / phénomènes qui indiquent du PID / etc.

⁴ Le SPF n'est pas certifié selon IEC61215.



4 Résultats

4.1 Comparaison du productible

Trois types de panneaux ont été en fonctionnement sur une période de 5 à 6 ans. Parmi ceux-ci, les panneaux A (mono-faciaux) et B' (bifaciaux) sont particulièrement intéressants, car les panneaux en plaine et dans les Alpes proviennent de la même série de fabrication et ont des durées d'utilisation similaires. Pour ces 2 références, nous avons donc un comparatif qui élimine les éventuels biais entre marques, modèles et même séries de production.

La figure 4 présente une comparaison de la variation de leur puissance crête mesurée dans les tests, en relation à la puissance crête initiale annoncée par le fabricant.

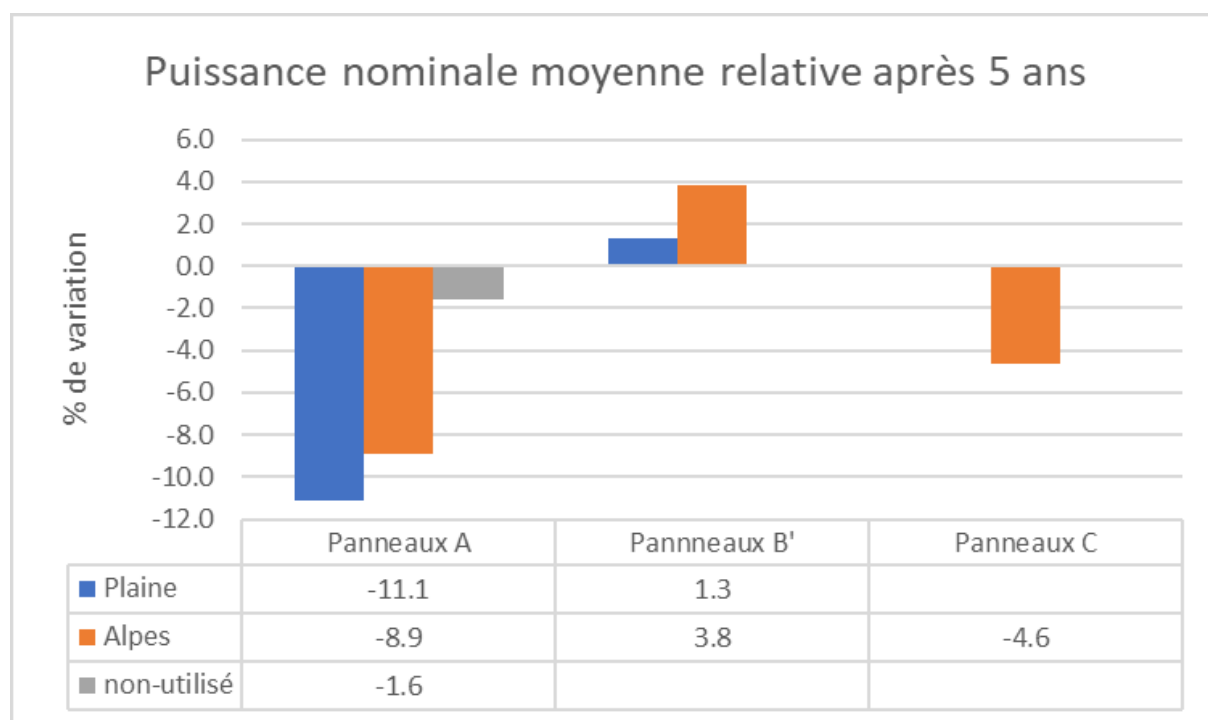


Figure 4 : Variation, par rapport à la puissance crête initiale annoncée sur la fiche technique, des puissances de panneaux de l'installation alpine, de plaine et d'un panneau référence non utilisé (quand disponible) tous anonymisés. L'apostrophe « ' » signale un modèle de panneau bifacial.

Après 5 ans, les 2 modèles de panneaux A et B' affichent une puissance crête mesurée moyenne inférieure en plaine que dans les Alpes.

- Pour le type de panneau A, le panneau non-utilisé affiche une valeur inférieure de 1.6% par rapport à la puissance crête annoncée par le fabricant, alors que les panneaux dans les Alpes et en plaine affichent respectivement une baisse de 8.9 et de 11.1 %. La différence de baisse de puissance crête relative est donc de 2,2 points entre Alpes et plaine. Et si la comparaison est effectuée par rapport au panneau de référence (panneau stocké et non-utilisé de la même série), la baisse est environ 30% plus marquée pour les panneaux en plaine que pour les panneaux alpins (perte supplémentaire de 9,5% contre 7,3%).



- Pour le type de panneau B', une différence absolue de baisse de puissance crête de 2,5% est constatée. Après 5 ans de fonctionnement, les panneaux alpins affichent encore un rendement supérieur de 3,8% à la puissance crête annoncée par le fabricant. Au vu de ces résultats, il y a lieu de penser que la puissance initiale réelle des panneaux était significativement plus élevée que la puissance crête annoncée par le fabricant. Le fabricant nous a par ailleurs confirmé avoir été très conservateur dans les puissances annoncées pour cette série. Nous ne disposons néanmoins pas de l'information de puissance réelle initiale par panneau, et nous ne pouvons alors pas faire de comparaison relative de rendement.

Les panneaux C (mono-faciaux) ont subi une perte de 4,6% de leur rendement par rapport à la puissance crête nominale annoncée.

Malgré les incertitudes de mesures annoncées (tolérance autour de la valeur absolue de P_{max} de $\pm 3\%$), 8 panneaux alpins de type A (sur 9 au total) ont une puissance mesurées supérieures à l'ensemble des 15 panneaux du même types mesurés en plaine. De plus, cette tolérance est certainement réduite pour une comparaison « relative ». Ainsi au vu des résultats sur notre échantillon, il existe une tendance réelle à une meilleure conservation de la puissance des panneaux dans les conditions de l'installation alpine.

La plateforme sert également au monitoring d'autres modèles de panneaux bifaciaux depuis l'été 2015. Ces derniers ont été également soumis aux tests. Les résultats sont représentés en figure 5.

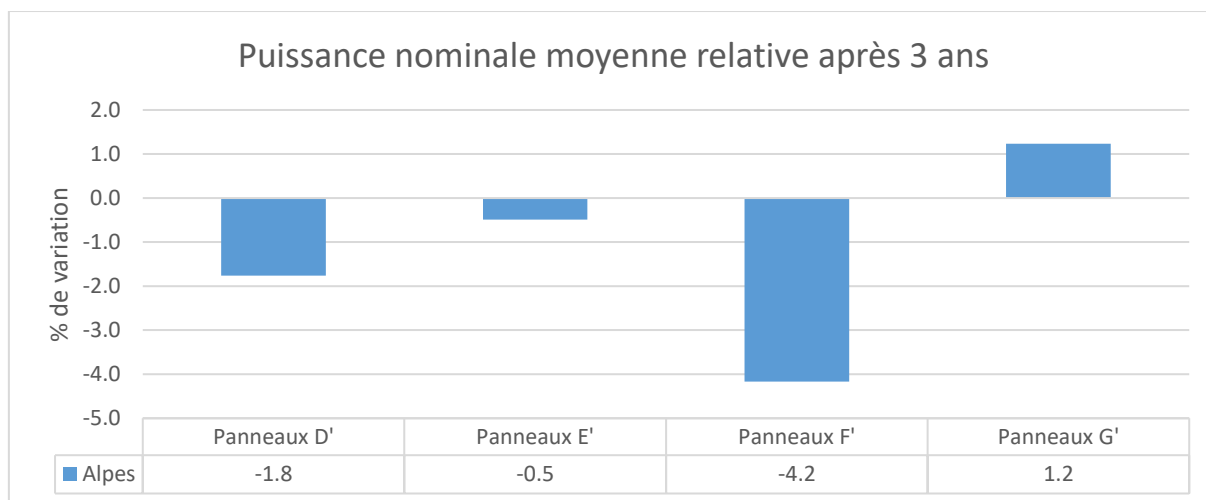


Figure 5 : Variation, par rapport à la puissance crête annoncée, des puissances de panneaux bifaciaux alpins après 3 ans de fonctionnement. Les lettres D' ; E' ; F' ; G' représentent différents modèles de panneaux, anonymisés.

Les différences de rendement spécifique entre les types de panneaux sur des installations similaires sont significatives : indépendamment de leurs conditions de fonctionnement, les modules solaires peuvent avoir des vieillissements visiblement très différents, qu'il est difficile d'identifier à l'achat. Certains panneaux, après 5 ans, affichent une valeur supérieure à la valeur nominale initiale, d'autres sont à la limite de la puissance garantie tandis que d'autres tombent en dessous. L'incertitude de mesure semble assez faible, car les valeurs mesurées sont proches au pour un même type de panneau. Ces panneaux avaient initialement tous des tolérances positives par rapport à la valeur annoncée, mais les valeurs initiales mesurées ne sont pas connues.



4.2 Caractéristiques des panneaux bifaciaux

Comme présenté en introduction, les panneaux bifaciaux sont particulièrement pertinents pour des applications alpines d'envergure. Comme mentionné au §3.1, les panneaux bifaciaux ont fait l'objet de tests distincts de la face avant et de la face arrière. La figure 6 représente les puissances relatives des faces arrière par rapport aux faces avant.

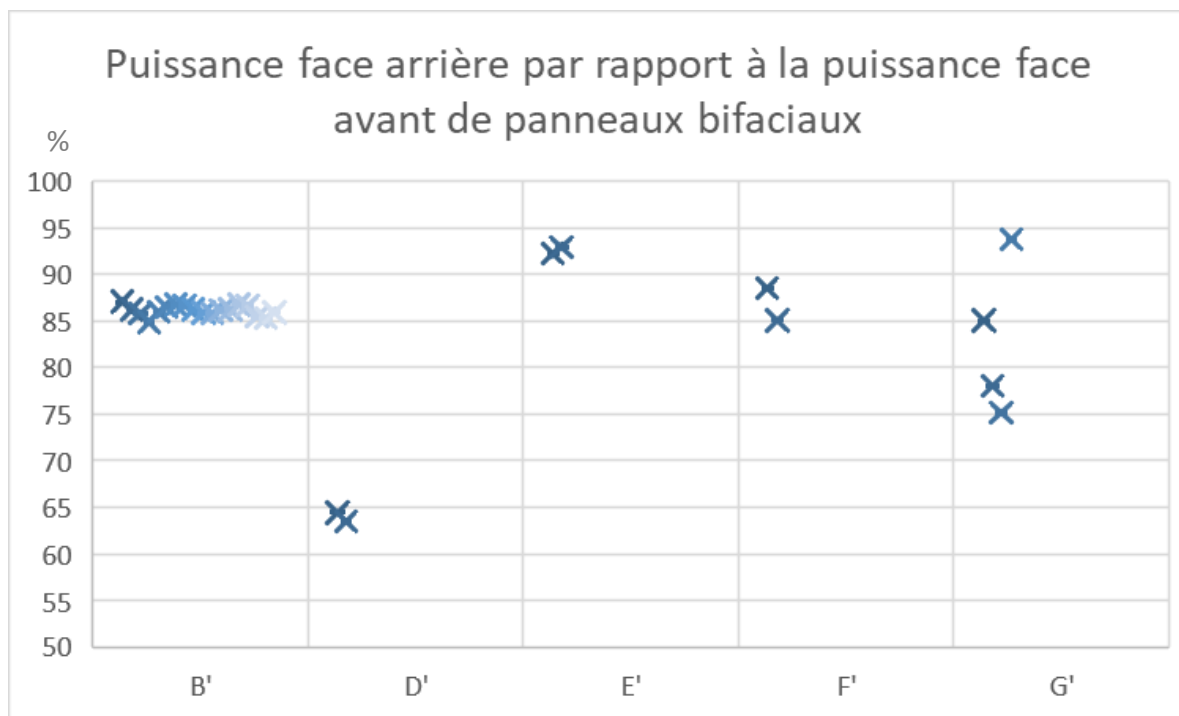


Figure 6 : Comparaison des facteurs de bifacialité (*bifacial factor*), soit le rapport entre puissance face arrière et puissance face avant d'un module bifacial. Les lettres B' ; D' ; E' ; F' ; G' représentent différents modèles, anonymisés.

Les propriétés des faces arrière ne sont en général pas documentées dans les fiches techniques des modules bifaciaux. Quand elles le sont, elles incluent des grandes marges de tolérance, par exemple, LG garantit la puissance crête en face arrière par rapport à la garantie de face avant, à 76 % de la face avant sur 25 ans avec une tolérance de $\pm 7\%$.

On constate, dans la Figure 6, des écarts significatifs entre les différentes marques de panneaux. Dans notre échantillon, les valeurs des faces arrière varient de 64% à 94% par rapport à la face avant. On notera même des faces arrière n'ont pas toutes les mêmes propriétés, parfois au sein même d'une série d'un des producteurs, qui nous avait fourni des panneaux expérimentaux.

4.3 Analyse des défauts constatés

Chaque panneau a fait l'objet de tests de qualité de ses cellules par électroluminescence.

Pour les panneaux de la série A, présentant une baisse de rendement significatives tant en milieu alpin qu'en plaine, les défauts sont également significativement plus élevés que sur les autres panneaux. Les défauts rencontrés sont divers, notamment :

- Microfissures, fissures et séparation des cellules supérieures à 20%,
- contacts défectueux, parfois cassés lors du brasage,



- shunts locaux,
- empreintes issues de la manipulation durant la production.

Le but de l'étude vise à répondre à la préoccupation que des panneaux soumis à des conditions de froid et de neige pourraient s'altérer plus rapidement que les panneaux sur des installations standards, en subissant davantage de défaut dus au gel ou à la charge de neige par exemple. La figure 7 illustre que sur notre échantillon d'analyse, il n'est pas possible de lier le nombre de défauts sur des cellules avec la perte de rendement observée. C'est même un panneau sans aucun défaut constaté qui a eu la baisse de rendement la plus marquée de l'échantillon.

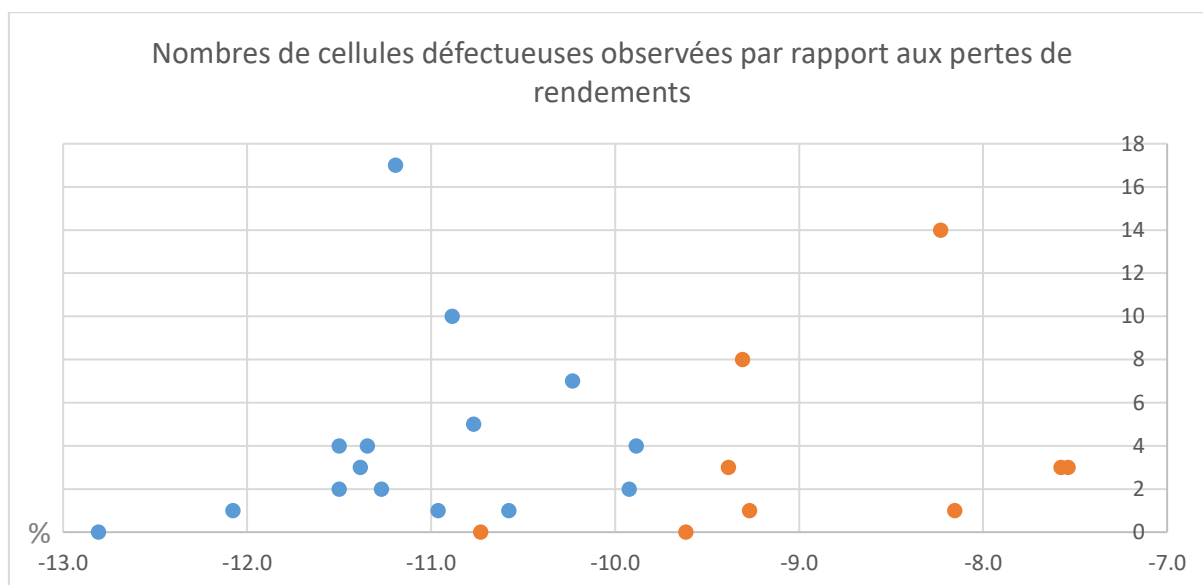


Figure 7 : comparaison des pertes de rendements et du nombre de cellules défectueuses observées : les défauts n'altèrent pas significativement le rendement des panneaux, malgré les pertes significatives constatées. (en bleu, les panneaux en plaine, en orange, ceux dans les Alpes)

Sur l'échantillon de panneaux issus de la même série, les panneaux alpins présentaient en moyenne moins de cellules défectueuses avec des fissures (3,6 en moyenne) que les homologues installés en plaine (4,2 en moyenne). Là encore, la tendance est à une meilleure préservation des panneaux sur l'installation alpine, malgré des conditions extrêmes d'enneigement à certaines périodes hivernales (et les charges élevées associées).

A noter que le panneau référence de la série A, présentant ces baisses de puissance importante dans leur ensemble, présente 4 cellules défectueuses dans le module de référence « non-utilisé » (panneau de rechange, stocké par précaution). Ces défauts pourraient être une indication d'une qualité de fabrication moindre conduisant d'une manière générale à des pertes de productibles plus élevées.



5 Discussion des résultats

5.1 Potentiel des installations alpines

Les installations alpines ont des caractéristiques de production uniques avec des puissances nominales atteignant 140% de la puissance crête, et subissent les contraintes de leur environnement, avec des températures descendant régulièrement en dessous de -10°C et de fortes charges de neige et glace.

Contrairement aux craintes initiales, raisonnablement émises, d'une dégradation supérieure des panneaux au vu de ces caractéristiques, les tests ont démontré des dégradations inférieures aux panneaux utilisés en plaine (sur les échantillons du projet). Sur le type de panneau le plus représentatif, la dégradation relative de la puissance crête a été 30% supérieure en plaine que dans les Alpes.

Les tests menés sont prometteurs pour des installations alpines ; la dégradation du productible des panneaux alpins semble être moins prononcée que sur des installations de plaine, placées en toiture. Cela augure donc une potentielle meilleure conservation temporelle dans les Alpes.

Différentes hypothèses peuvent être émises quant à ce phénomène, qui mériteraient davantage d'investigations :

- Les panneaux de la plateforme de test, situés dans les Alpes, sont soumis à significativement plus d'ombrage lointain (montagnes environnantes) que les panneaux analysés en plaine. Ils sont donc en fonctionnement durant un nombre d'heures moins élevé (voir figure 3). Par contre, quand ils fonctionnent, leur puissance est bien plus élevée. Une hypothèse pourrait être que la dégradation est corrélée avec le nombre d'heures de fonctionnement, indépendamment de la puissance de fonctionnement.
- Les panneaux de la plateforme de test, situés dans les Alpes, sont particulièrement bien aérés et sont soumis à des températures de fonctionnements plus basses que les panneaux en plaine qui sont placés sur des toitures. Une hypothèse pourrait être que les panneaux s'altèrent davantage dans le temps s'ils travaillent à haute températures plutôt qu'à basse température.
- D'autres facteurs pourraient être à investiguer, comme l'influence des UV en altitude, la moindre humidité ou l'influence du fonctionnement de l'onduleur. Dans l'installation étudiée en montagne, les panneaux fonctionnent avec des onduleurs à optimiseur individuel, alors que l'installation en plaine fonctionne avec des onduleurs de chaîne standard.

Remarque : Lors de l'une des interventions sur un des sites en plaine, les panneaux paraissaient relativement sales. L'hypothèse d'une pollution atmosphérique plus prononcée en plaine que dans les Alpes ou d'un meilleur nettoyage par la neige a donc été envisagée. Toutefois, un flash-test a été effectué avant et après nettoyage sur un des panneaux sales. Il ne ressort pas de différence significative.

5.2 Potentiel des panneaux bifaciaux

Les panneaux bifaciaux sont pertinents pour des applications d'envergure dans les Alpes, également dans des applications verticales. Les tests menés ont cependant soulevé quelques points ouverts qui méritent une attention particulière avant leur déploiement à grande échelle :



- Au vu des informations lacunaires dans les fiches techniques, et des incertitudes supplémentaires d'efficacité réelle des faces arrière, nous conseillons vivement de tester les panneaux bifaciaux par échantillonnage avant leur installation dans des projets alpins d'envergure.
- Les tests fins montrent notamment des différences de fonctionnement en fonction des dispositions des boîtes de jonctions en face arrière. La qualité et l'intégration de la boîte de jonction arrière à l'architecture du panneau mérite une attention particulière.
- Les panneaux bifaciaux présentent des puissances crêtes totales parfois proche de 200% des puissances crêtes certifiées des faces avant. Ils permettent en conditions alpines des productions supérieures à 50% aux installations avec des panneaux simples. Leur taux de rétribution unique, basé actuellement sur la puissance DC maximale normée de la face avant des panneaux, est un facteur limitant leur potentiel de déploiement. Une adaptation des règles applicables sur ce thème pourrait être bénéfique pour mieux valoriser le potentiel énergétique de ce type de panneau.

5.3 Potentiel d'une installation de flashage mobile

Le MJB a parfaitement répondu aux attentes délicates de ce projet, en permettant de tester dans des conditions proches des conditions standards de test, des panneaux sur un site difficile d'accès, et de réaliser des tests à faible coût.

Des différences significatives ont pu être constatées entre différents fournisseurs, et des risques pour certains panneaux de problème de garantie ont pu être identifiés. Cette installation mobile est un excellent outil pour la vérification de la qualité d'exécution et de fournitures de grandes installations.

Les données de flash-test initial des panneaux ont manqué pour ce projet, pour de projets similaires futurs, il est intéressant d'exiger cette information des fournisseurs à l'achat des panneaux.



6 Conclusions et perspectives

Les tests comparatifs ont permis des premiers éléments de réponse à la question-clé posée : dans la limite des tests et des échantillons disponibles pour cette étude, la conservation dans le temps de la puissance crête des panneaux semble être meilleure pour des installations alpines. Les installations situées sur des toits en plaine ont subi une baisse plus prononcée de leur puissance crête mesurée. Ces différences n'ont pas pu être expliquée avec les analyses de défauts menées sur les panneaux.

Diverses hypothèses pour expliquer cette tendance ont été émises et mériteraient plus d'investigations. L'une des hypothèses est une dégradation corrélée au nombre d'heure de fonctionnement réel plutôt qu'au nombre d'heure de fonctionnement théorique équivalent heures pleines. Une autre est la température moyenne plus basse, et notamment la réduction des temps de fonctionnement à haute température. D'autres facteurs d'influence pourrait faire l'objet de recherche ultérieure.

Les installations en montagne sont également un marché cible très pertinent pour les panneaux bifaciaux, qui profitent pleinement de l'environnement avec de très fortes réflexions et intensité. Les normes considérant uniquement les faces avant des modules, un effort de caractérisation des faces arrière est nécessaire, et un éventuel mécanisme de soutien spécifique à ces panneaux pourrait être envisagé.

La combinaison du vieillissement très satisfaisant des panneaux, de l'excellent productible, et de la complémentarité hivernale de la production avec les autres sources d'énergies en cas d'anticyclone (brouillard en plaine pour les autres installations, absence de précipitation et de vent) renforce l'intérêt d'un effort de recherche et de développement du solaire en montagne.

Nous suggérons de maintenir l'exploitation de ces modules pour la recherche et d'envisager une nouvelle comparaison dans 10 ans : il existe peu d'installations permettant de faire directement des comparaisons similaires.